

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-260458

(43)Date of publication of application : 13.09.2002

(51)Int.Cl.

H01B 12/16

F25D 3/10

(21)Application number : 2001-061377

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 06.03.2001

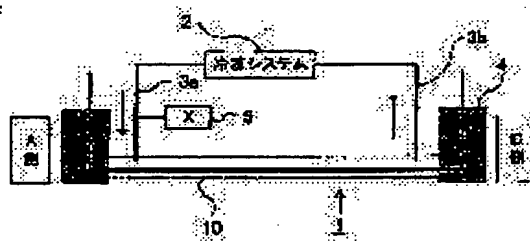
(72)Inventor : KATO TAKESHI
SUZAWA CHIZURU
OKURA KENGO
WATABE MICHIIKO
HIROSE MASAYUKI

(54) METHOD FOR CONTROLLING VAPORIZING SPEED OF COOLANT OF SUPERCONDUCTING CABLE

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for controlling vaporizing speed of a coolant of a superconducting cable, capable of preventing degradation of performance which follows expansion by suppressing the expansion of a superconductor caused by abrupt temperature rise when shifting into a normal temperature.

SOLUTION: A coolant is supplied at a temperature higher than normal cooling when it flows into a superconducting cable 10, and a superconductor is raised in temperature at a temperature-rise speed 10 k/hour or below. A superconducting cable line 1 which realizes the vaporizing speed controlling method comprises the superconducting cable 10, a supply system 2 which cools the coolant while circulates it in the cable 10, and a fluid supply mechanism 5 to flow-in a fluid for rising temperature whose temperature is equal to or higher than the coolant at normal cooling.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-260458

(P2002-260458A)

(43) 公開日 平成14年9月13日 (2002.9.13)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード (参考)

H 0 1 B 12/16

Z A A

H 0 1 B 12/16

Z A A

3 L 0 4 4

F 2 5 D 3/10

F 2 5 D 3/10

B 5 G 3 2 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-61377 (P2001-61377)

(22) 出願日 平成13年3月6日 (2001.3.6)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 加藤 武志

大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電

気工業株式会社大阪製作所内

(72) 発明者 須澤 千鶴

大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電

気工業株式会社大阪製作所内

(74) 代理人 100100147

弁理士 山野 宏 (外1名)

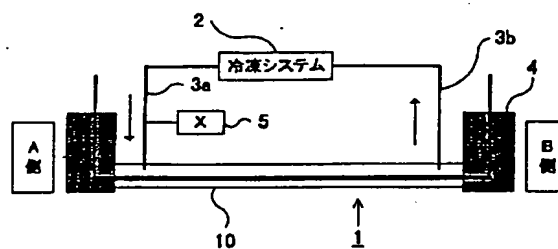
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法

(57) 【要約】

【課題】 常温に移行する際の急激な温度の上昇に伴う超電導導体の膨張を抑制し、この膨張に伴う性能の低下を防止することができる超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法を提供する。

【解決手段】 超電導ケーブル10に流入する際の冷媒の温度を通常冷却時よりも高くして供給し、超電導導体を昇温速度10K/hour以下で昇温する。この気化速度制御方法を実現させる超電導ケーブル線路1は、超電導ケーブル10と、冷媒を冷却すると共にケーブル10に循環させる供給システム2と、通常冷却時の冷媒の温度以上である昇温用流体を流入する流体供給機構5とを具える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 超電導ケーブルにおける冷媒の沸点の変化速度と、この冷媒の変化速度との相対速度を小さくし、等価的に超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温することを特徴とする超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法。

【請求項2】 超電導ケーブルに流入する際の冷媒の温度を通常冷却時よりも高くして供給し、超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温することを特徴とする超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法。

【請求項3】 超電導ケーブルに流入する際の冷媒の流速を通常冷却時よりも小さくして供給し、超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温することを特徴とする超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法。

【請求項4】 超電導ケーブルに流入する冷媒に、通常冷却時の冷媒の温度以上である昇温用流体を流入し、超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温することを特徴とする超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法。

【請求項5】 冷媒の温度が沸点以下で沸点近くである状態から、冷媒の圧力を徐々に大きくして超電導ケーブルに供給することを特徴とする超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法。

【請求項6】 冷媒の圧力を徐々に小さくして沸点を低下させ、冷媒の温度を沸点以下で沸点近くにすることを特徴とする請求項5記載の超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法。

【請求項7】 超電導体を冷媒により冷却する超電導ケーブルと、前記冷媒を冷却すると共に超電導ケーブルに循環させる供給システムとを具える超電導ケーブル線路であって、通常冷却時の冷媒の温度以上である昇温用流体を冷媒に流入する流体供給機構を具えることを特徴とする超電導ケーブル線路。

【請求項8】 超電導体を冷媒により冷却する超電導ケーブルと、前記冷媒を冷却すると共に超電導ケーブルに循環させる供給システムとを具える超電導ケーブル線路であって、冷媒を加熱する加熱機構を具えることを特徴とする超電導ケーブル線路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、常温に昇温する際の急激な温度変化などによって超電導体が膨張するのを抑制することができる超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法及び冷媒の気化速度の制御が可能な超電導ケーブル線路に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図2に一般的な超電導ケーブル線路20の概略図を示す。超電導ケーブル線路20は、超電導ケーブル10と、超電導体を冷却する冷媒を供給する供給システム2とを具え、供給システム2は、液体窒素などの冷媒

を貯留し流出できるタンク、冷媒を冷却する冷凍機（共に図示せず）などを具える。超電導ケーブル10と供給システム2とは、通常、ケーブル10の両端側に具えるパイプ3a・3bによって連結される。送電時、冷媒は、図2の矢印に示すように①タンク→②パイプ3a→③超電導ケーブル10→④パイプ3b→⑤(①)タンクの順で循環され、超電導体を冷却する。⑤でタンクに戻された冷媒は、冷凍機などで通常冷却温度に冷却され、再度流出される。

【0003】 図3に一般的な超電導ケーブル10の断面図、及びケーブルコア31の拡大図を示す。超電導ケーブル10は、断熱管38の内側に単芯或いは複数芯然り合わせたケーブルコア31が挿入され、コア31の外周に冷媒が流通される構造である。ケーブルコア31は、内側から順にフォーマ32・超電導体33・電気絶縁層34・磁気遮蔽層35・保護層36から構成され、然り合されたコア31の外側は、二重の断熱管38・防食層39で覆われている。ケーブルコア31の外周面と内側の断熱管38の内周面とで囲まれる間隙が冷媒流通路37であり、ここにタンクから流出されパイプ3a（図2参照）を経た冷媒が流通される。

【0004】 超電導体33は、テープ状や丸状にした超電導素線をフォーマ32の外周にスパイラル状に巻き付けた積層構造である。送電時、冷媒流通路37には通常冷却温度に冷却された冷媒が流通され、超電導体33は、冷媒流通路37から電気絶縁層34を経て浸入してきた冷媒に浸された状態である。このとき、超電導素線には、製造の際、表面に微小な孔が形成されることがあり、この孔を通して素線内部に存在する間隙に冷媒が浸入していることがある。

【0005】 このような超電導ケーブル10において、事故や点検などで通常冷却温度（極低温）から常温に移行する場合、迅速に昇温するために、一般に、以下の手順で行う。①タンクからの冷媒の供給を停止→②常温の気体窒素などをパイプ3a（図2参照）から冷媒流通路37に流入→③パイプ3bから液体窒素・気体窒素などを排出。即ち、強制的に気体窒素などを流入して超電導体33を昇温する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 上記のように超電導ケーブル10は、常温への移行の際、超電導素線内部の間隙に液体状の冷媒が浸入した状態で極低温から常温に昇温される。このとき、超電導素線内部の間隙に浸入した液体状の冷媒は、温度変化の速度（昇温速度）が小さければ、気化しながら素線外部に放出することができる。しかし、従来の手順では、通常冷却時の冷媒の温度よりかはるかに高温の気体窒素などを強制的に流入して昇温するため、昇温速度が大きく（超電導体において11～100K/hour程度）、超電導素線内部の冷媒は、素線外部に放出される前に急激に気化してしまう。すると、素線内部の圧力が上昇して素線外部と圧力差が生じ、素線に膨れが生じる。この素線の膨張により、超電導体が破壊さ

れ、臨界電流 (I_c) 密度の低下など、超電導ケーブルの性能が低下する恐れがある。

【0007】一方、タンクからの冷媒の供給を停止し、侵入熱により自然昇温する方法が採られる場合があるが、この場合も断熱管38の断熱性能などが悪いと昇温速度が大きくなり、上記と同様の問題が生じる。

【0008】そこで、本発明は、常温に移行する際の急激な温度の上昇に伴う超電導体の膨張を抑制し、この膨張に伴う性能の低下を防止することができる超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法を提供することを目的とする。また、本発明は、この気化速度制御方法を実現するのに最適な超電導ケーブル線路を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、超電導ケーブルにおける冷媒の沸点の変化速度と、この冷媒の変化速度との相対速度を小さくすることで、等価的に超電導体の昇温速度を10K/hour以下として冷媒の気化速度を制御する。相対速度を小さくする方法として、本発明では、特に、超電導ケーブルに流入する冷媒の温度を調節すること、また超電導ケーブルに流入する冷媒の圧力を調節することを提案する。以下に、より具体的な超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法を示す。なお、本発明において、以下の①～④のいずれかを組み合わせるとより効果的である。

【0010】<冷媒の温度調節による冷媒の気化速度制御方法>

① 超電導ケーブルに流入する際の冷媒の温度を通常冷却時よりも高くして供給し、超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温する。

② 超電導ケーブルに流入する際の冷媒の流速を通常冷却時よりも小さくして供給し、超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温する。

③ 超電導ケーブルに流入する冷媒に、通常冷却時の冷媒の温度以上である昇温用流体を流入し、超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温する。

<冷媒の圧力調節による冷媒の気化速度制御方法>

④ 冷媒の温度が沸点以下で沸点近くである状態から、冷媒の圧力を徐々に大きくして超電導ケーブルに供給する。

【0011】本発明は、以下に示す超電導素線の膨張のメカニズムを見出したことに基づくものである。

(超電導素線が膨張するメカニズム)

(1) 素線表面の孔から超電導素線内部に液体窒素などの液体状の冷媒が浸入する。

(2) 温度変化によって超電導素線内部で液体状の冷媒が気化する。

(3) 素線表面の孔から放出されるガス量よりも気化するガス量が多いと超電導素線内部の圧力が大きくなり、超電導素線の内外間に過大な圧力差が発生する。

(4) 超電導素線の許容以上の圧力差が生じた場合、素線が膨張する。即ち、本発明は、超電導素線内部に浸入した液体状の冷媒が素線内部で急激に気化して許容以上の圧力差を生じないように、冷媒の気化速度を制御することで素線の膨張を防止する。具体的には、ほぼ一定の圧力における冷媒の温度を調節すること、またはほぼ一定の温度における冷媒の圧力を調節することで冷媒の気化速度を制御する。以下により詳しく説明する。

【0012】<冷媒の温度調節による冷媒の気化速度制御方法>超電導体が単位時間当たりに冷媒により冷却される熱量を W_{cool} (J/hour)、単位時間当たりの断熱管からの侵入熱を W_{in} (J/hour)、超電導体の熱容量を Q (J/K)とすると、超電導体の昇温速度 S (K/hour)は、 $S = (W_{in} - W_{cool}) / Q$ で表される。送電時、超電導体は、過冷却状態(気体が存在しない状態)の冷媒によってほぼ一定の温度(超電導状態を維持できる極低温)に冷却されるため、侵入熱 W_{in} によって温度が上昇することはほとんどない。しかし、従来の手順で昇温過程へ移行すると、侵入熱 W_{in} により冷媒の温度が急激に上昇して W_{cool} が急速に減少する。このとき、冷媒の温度を調節すると W_{cool} が調節されるので、超電導体の昇温速度 S を制御することになる。そこで、本発明は、冷媒の沸点の上昇速度と昇温速度との相対速度を小さくするように冷媒の温度を調節する。具体的には、超電導体の昇温速度が10K/hour以下となるように冷媒の温度を調節する。冷媒の温度を調節する方法としては、超電導ケーブルに流入する際の冷媒の温度を通常冷却時に供給する極低温と比較してより常温側に近い温度にして供給することが挙げられる。また、超電導ケーブルに流入する冷媒に通常冷却時の冷媒の温度以上である昇温用流体を混入して、より常温側に近い温度の冷媒を供給することが挙げられる。

【0013】超電導ケーブルに流入する際の冷媒の温度を通常冷却時よりもより常温側に近い温度にして供給する方法として、通常の冷媒の供給システムをそのまま用いることが好ましい。例えば、以下のようにして冷媒の温度を調節すればよい。

① 冷凍機に具える温度調節機構によって流出時の冷媒の温度を通常冷却時より高くなるように調節する。

② タンクに具える流速調節機構によって流出時の冷媒の流速を通常冷却時より小さくするように調節する。このとき、流速を小さくすることでより低い温度の冷媒の流量が減るため、冷媒を昇温することになる。本発明では、このように冷媒の供給システムをそのまま用いることで、冷却から昇温に連続して移行できる。なお、用いる冷媒は、液体窒素や液体ヘリウムが好ましい。

【0014】超電導ケーブル線路において別途冷媒の加熱機構を設けて、超電導ケーブルに流入する冷媒を加熱してもよい。このような加熱機構は、電気的なヒーターなどが好ましい。

【0015】一方、超電導ケーブル線路において、別途通常冷却時の冷媒の温度以上である昇温用流体を供給する流体供給機構を設けてもよい。昇温用流体として、例えば、通常冷却温度以上にした気体、気体と液体との混合、液体が挙げられる。ここで、同一元素において気体は、液体よりも熱伝導率が小さいため、例えば、同一圧力同一温度の気体が混合された液体冷媒は、同一圧力同一温度の全てが液体である冷媒よりも冷却能力が小さい。即ち、通常冷却温度以上の気体が混入された冷媒は、上記で説明した温度の高くした冷媒とほぼ同様の効果が得られる。このような昇温用流体は、冷媒と元素が異なる場合、沸点や凝固点が異なることで冷媒との調整が困難であるため、冷媒と同一元素を用いることが最適である。

【0016】なお、本発明において超電導ケーブルに流入する際の温度を通常冷却時よりも高くして冷媒を供給することで、ケーブルの長手方向に亘ってより均一に超電導体を昇温することができる。以下、その理由を説明する。通常、既に冷媒流通路に供給された冷媒は、侵入熱 W_i により昇温される。従って、冷却された冷媒が最も遅く到達する側（図2においてB側）付近は、侵入熱 W_i による昇温が著しく、冷媒が流入される側（同A側）付近よりも温度が大きいため、超電導体の昇温速度もB側付近の方がA側付近よりも大きくなる。そこで、本発明は、冷媒が流入されるA側から通常冷却時よりも温度を高くした冷媒を流す。温度を高くした冷媒を流入した際、A側とB側とは温度勾配が生じる場合があるが、この冷媒の熱量はB側に向かうにつれて小さくなる。そのため、本発明は、温度を高くした冷媒の量を調節することでA側付近の超電導体とB側付近の超電導体とをほぼ等しい速度で昇温することができ、超電導ケーブルの長手方向に亘ってより均一に超電導体を昇温できる。

【0017】＜冷媒の圧力調節による冷媒の気化速度制御方法＞一般に圧力を高くすると液体の沸点は高くなるため、超電導ケーブルに流入する冷媒の圧力を大きくすると冷媒の沸点は高くなる。そこで、本発明は、冷媒の沸点が変化（上昇または下降）する速度と冷媒が侵入熱により昇温される速度との相対速度が小さくなるように圧力を調節することで、超電導素線内部の冷媒が気化する速度を相対的に小さくする。従って、冷媒の圧力を調節した場合、冷媒の温度を調節した場合と同様の効果が得られる。即ち、冷媒の圧力を制御することは、等価的に超電導体の昇温速度を制御することになる。

【0018】本発明において冷媒の圧力は、冷媒の温度が沸点以下で沸点近くである状態から、徐々に大きくして超電導ケーブルに供給する。一方、冷媒は、より凝固点に近い温度で超電導ケーブルに供給されていることがある。このような温度にある冷媒において、その圧力を大きくしていくと、冷媒が侵入熱により昇温される速度よりも、沸点が上昇する速度の方が相対的に大きくな

り、冷媒の気化が開始されるまでの効率が低下する。そこで、冷媒の気化が始まるまでの時間を短縮するために、沸点を冷媒の温度に近付けることが好ましい。例えば、冷媒の圧力を徐々に小さくして沸点を低下させることで冷媒の温度を沸点以下で沸点近くにする。そして、冷媒の温度が沸点以下で沸点近くになってから冷媒の圧力を徐々に大きくする。冷媒の圧力の大きさは、等価的に超電導体が昇温速度10K/hour以下で昇温されるように調節するとよい。また、冷媒の圧力の大きさは、超電導ケーブルの断熱性能等によって異なるため、超電導ケーブル線路の各構成が具える性能によって適宜変更するとよい。冷媒の圧力は、例えば、タンクに具えるポンプなどによって調節するとよい。

【0019】＜冷媒の温度及び圧力の制御による冷媒の気化速度制御方法の共通作用＞本発明において、冷媒の温度は、通常、侵入熱の大きさや断熱性能などにより超電導ケーブルの長手方向に若干ばらつきがあり、冷媒の温度が沸点に達している箇所と沸点に達していない箇所とが存在し、冷媒の温度が沸点に達した箇所から気化する。従って、本発明は、冷媒の温度を高くしたり、圧力を大きくしても、全ての冷媒がほぼ一斉に気化することではなく、超電導素線の膨張を防止することができる。

【0020】本発明は、冷媒が液体と気体との混合状態で流通されることを許容する。なお、本発明では、気体を混合しなくても、通常冷却時よりも高温の冷媒を流入したり侵入熱によって、既に供給された冷媒が気化して液体と気体とが混合した状態で流通されることがある。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明超電導ケーブル線路1の概略図を示す。本発明超電導ケーブル線路1は、図2に示す従来の超電導ケーブル線路20と基本的に同様の構造であり、超電導ケーブル10と、超電導体を冷却する冷媒の供給システム2とを具える。なお、同一符号は同一物を示す。

【0022】供給システム2は、冷媒を貯留し流出可能なタンク・冷媒を冷却する冷凍機などを具える。供給システム2において冷凍機は、冷媒の冷却温度の調節が可能な温度調節機構を有し、タンクは、冷媒の流速の調節が可能な流速調節機構及び冷媒の圧力の調節が可能な圧力調節機構を有し、供給する冷媒の温度、圧力及び流速を調節することができる。

【0023】供給システム2と超電導ケーブル10とは、パイプ3a・3bで連結される。送電時、供給システム2のタンクから流出された過冷却状態の冷媒は、パイプ3aを通じて図1の矢印が示すように超電導ケーブル10の冷媒流通路（図3参照）内をA側からB側に流通される。

【0024】超電導ケーブル10の両端部は、トランスなどの電気機器と接続される終端接続部4を具える。この終端接続部4に有する電流リードを介して超電導ケーブル10は、極低温側から常温側に引き出される。終端接続

部4には、供給システム2に具える冷凍機と別個に超電導リードを冷却するための冷凍機を具えて、送電時、超電導リードを冷却する。

【0025】このような超電導ケーブル線路1において、超電導ケーブル10を極低温から常温に移行する場合の冷媒の温度を調節する方法を以下に説明する。本例において冷媒は、液体窒素を用いた。

(1) 冷媒の温度を通常冷却時よりもより常温側の温度に近い温度になるように調節してA側から流入する。冷媒を通常冷却時よりも高い温度にするには、例えば、B側に戻された冷媒を冷却せずそのまま用いたり、冷凍機に有する温度調節機構を調節することや冷凍機で冷媒を冷却する時間を調節することなどが挙げられる。冷媒の温度は、超電導体の昇温速度が10K/hour以下となるように調節する。この方法により、超電導素線内部に浸入した冷媒は、そこで気化せず素線外部に放出されたり徐々に気化されることで、素線の膨張を抑制する。なお、通常冷却時よりも高温の冷媒が流入されることで、冷媒流通路には、既に供給された冷媒が気化して液体と気体とが混合した状態で流通されることがある。また、この方法は、通常冷却時より高い温度にした冷媒を供給することで、超電導体を昇温できる。

【0026】冷媒を供給するA側のパイプ3aにヒーターなどの加熱機構を設け、冷媒が通過する際に加熱して、冷媒をより常温側の温度に近い温度にしてもよい。加熱機構は、単独で用いても良いが、B側の冷媒をそのまま供給する際や、冷凍機の温度調節だけでは冷媒の温度が適当でないときなどに用いることが好ましい。このような加熱機構は、単一でもパイプ3aの長手方向に超電導ケーブル10に向かって複数具えてもよい。

【0027】(2) 冷媒の流速を通常冷却時より小さくするように調節してA側から流入する。通常冷却時よりも冷媒の流速を小さくするには、例えば、タンクに有する流速調節機構を調節することが挙げられる。この方法は、通常冷却時よりも流速を小さくして単位時間当たりに流れる冷媒の量を通常冷却時よりも少なくすることで、侵入熱により暖められ通常冷却時よりもより常温側に近い温度にした冷媒を供給できる。流速は、冷媒が超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温できる温度になるように調節する。この方法により、超電導素線内部に浸入した冷媒は、そこで気化せず素線外部に放出されたり徐々に気化することで、素線の膨張を抑制する。流量調節機構を具える場合は、それを調節して流量を小さくしても同様の効果が得られる。なお、冷媒の流速を通常冷却時よりも小さくすることで、冷媒流通路では、侵入熱により暖められた通常冷却時よりも温度の高い冷媒が混入されるため、既に供給された冷媒が気化して、液体と気体とが混合した状態で流通されることがある。また、この方法は、通常冷却時より高い温度にした冷媒を供給することで、超電導体を昇温できる。

【0028】(3) 超電導ケーブル線路1に流体供給機構5を設け、パイプ3aを通過する冷媒に通常冷却時の冷媒の温度以上である昇温用流体を混入させてA側から流入する。A側のパイプ3aに別途流体供給機構5を設けて、通常冷却温度以上である昇温用流体を冷媒に混入させてもよい。このような昇温用流体は、通常冷却時の冷媒の温度以上である流体であれば特に問わないが、冷媒と同一元素であることが好ましく、例えば、気体窒素や気体窒素と液体窒素とを混合したものが好ましい。もちろん、流体供給機構に加熱機構を具えておき、加熱した液体窒素のみを通過する冷媒に混入してもよい。

【0029】気体を混合させる場合、液体よりも熱伝導率の小さいことで単位時間当たりに流入される冷媒の量が通常冷却時よりも少なくなり、結果として侵入熱により暖められて通常冷却時よりもより常温側に近い温度にした冷媒を供給することになる。気体の混合比率・温度や圧力などは、冷媒が超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温できる温度になるように調節する。この方法により、超電導素線内部に浸入した冷媒は、そこで気化せず素線外部に放出されたり徐々に気化することで、素線の膨張を抑制する。このような流体供給機構は、気体を貯留するタンクに温度調節機構・流速調節機構・圧力調節機構などを具えるものが好ましい。また、液体と混合する場合、液体用に同様のタンク・機構を具えるとよい。なお、この方法は、通常冷却時より高い温度にした冷媒を供給することで、超電導体を昇温できる。

【0030】これらの各方法は、それぞれを組み合わせる冷媒が超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温できる温度になるように調節してもよい。例えば、冷凍機の温度調節機構により通常冷却時の温度よりもより常温側に近い温度にし、かつ流速調節機構により通常冷却時の流速よりも小さくして冷媒を流通させるなどである。

【0031】次に、超電導ケーブル10を極低温から常温に移行する場合において冷媒の圧力を調節する方法を以下に説明する。

(4) 冷媒の温度が沸点以下で沸点近くである状態から、冷媒の圧力を徐々に大きくなるように調節してA側から流入する。冷媒の圧力を徐々に大きくするには、例えば、タンクに有するポンプなどの圧力調節機構を調節することが挙げられる。ここで、例えば、液体窒素の沸点は、通常冷却時(約0.1MPa下)で約77K、約0.5MPa下で約92Kである。従って、この方法は、冷媒の圧力を徐々に大きくすることで冷媒の沸点を高くして、超電導素線内部に浸入した冷媒の気化速度を相対的に小さくし、素線の膨張を抑える。流入する冷媒の圧力の大きさとしては、等価的に超電導体を昇温速度10K/hour以下で昇温できることが好ましく、特に0.1MPa以上1MPa以下が好ましい。例えば、冷媒が液体窒素である場合、冷媒の温度が77K以下で77K近くになったら、圧力を0.1MPaから徐々に大きくするとよい。

【0032】なお、冷媒の温度がより凝固点に近い温度である場合、冷媒の圧力を徐々に小さくして沸点を低下させ、冷媒の温度を沸点以下で沸点近くにする。

【0033】本発明超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法は、超電導体の昇温速度を10K/hour以下となるように供給する冷媒の温度を調節する。また、等価的に超電導体が昇温速度10K/hour以下で昇温されるように、超電導ケーブルに流入する冷媒の圧力を調節する。このとき、特に、冷媒の温度が通常冷却温度に近い昇温開始時などでは、温度変化がより小さいことが好ましく、具体的には、超電導体の昇温速度が2K/hour以下となるように冷媒の温度や圧力を調節することが好ましい。超電導素線内部に浸入していた冷媒が素線外部に放出されるような温度になったら、従来の迅速に昇温する方法を行えばよい。

【0034】（試験例）以下の材料で超電導ケーブル10を製造し、本発明超電導ケーブル線路1に用いて、昇温速度を変化させた際における超電導素線の膨張の有無を調べてみた。表1に製造した超電導ケーブル10の各サイズを示す。なお、本試験では、上記(1)に示した冷凍機の温度調節機能により冷媒の温度を調節し、通常冷却時の温度よりもより常温側の温度に近い温度にした冷媒を流入する方法を用いた。

【0035】（超電導ケーブル10の全体構成）超電導ケーブル10は、図3に示すように断熱管38の内側に3芯燃り合わせたケーブルコア31が挿入され、コア31の外周は冷媒を流通させる冷媒流通路37である。ケーブルコア31は、内側から順にフォーマ32・超電導体33・電気絶縁層34・磁気遮蔽層35・保護層36から構成される。以下、各構成を示す。

【0036】（フォーマ）ケーブルコア31の最内部であるフォーマ32は、ケーブルの機械的特性を考慮して細い銅線などを燃り合わせたものや、予め円筒状に形成された銅などの金属管でもよい。前者は、上記に示したケーブルコア31の外周にのみ冷媒を流通させる場合に使用するとよい。後者は、金属管の内側にも冷媒を流通させる場合に使用するとよい。なお、細い銅線を用いる場合、渦電流損失を低減させるために絶縁被覆を施すことが好ましい。

【0037】（超電導体・磁気遮蔽層）超電導体33は、フォーマ32の外周上に超電導素線をスパイラル巻き

して形成する。磁気遮蔽層35は、電気絶縁層34の外周上に超電導体33を構成する超電導素線と同様のものをスパイラル巻きして形成する。これら超電導体33・磁気遮蔽層35は、インピーダンスが各層において均一になるようにスパイラルピッチ・方向を調整し、各層の電流を均流化する。超電導素線は、パウダーインチューブ法などにより製造するとよい。この製造方法は、超電導材を注入した第1シースを伸線し、それを複数本集めて第2シースに挿入して再度伸線加工を施してから、圧延してテープ状又は丸状にする。通常は、この線材に1回目の焼結を行った後、もう一度圧延加工を施して、2回目の焼結を行い超電導素線を得る。超電導材には、例えば、イットリウム系、ビスマス系、タリウム系の酸化物などのセラミック材が好ましい。また、超電導材以外にもBi-2212相を主相とする前駆体（最終焼結後にBi-222相が形成される）などの超電導材の原料でもよい。第1・第2シースは、銀又は銀合金から形成されるものが好ましい。

【0038】（電気絶縁層）電気絶縁層34は、巻回した絶縁材料に冷媒を浸漬させる構造である。絶縁材料には、例えば、クラフト紙などの絶縁紙、ポリプロピレンフィルムの少なくとも片面にクラフト紙を接合したPPLP（Polypropylene Laminated Paper）などの半合成紙・ポリエチレンフィルムやポリプロピレンフィルムなどの合成紙がよい。なお、電気絶縁層34の最大ストレスは、0.2MPa（絶対圧力）でコロナ開始電界となる24kV/mmを採用した。最大ストレス値は、66kV級のOFケーブルのAC耐圧試験値（130kV）において、モデルケーブルなどの試験結果から適用した。冷媒は、液体ヘリウムや液体窒素などを用いる。

【0039】（保護層）保護層36は、クラフト紙などを巻回して形成する。

（断熱管）断熱管38は、コルゲート状の内管・外管による2重構造である。両管の間は、スーパーインシュレーションなどの断熱材が多層に配置され真空状態に保持された断熱層である。

（防食層）防食層39は、ポリ塩化ビニル（PVC）などを被覆する。

【0040】

【表1】

	材料	サイズ	
芯	銅撚り線	外径	0.016mm
導体層	Bi 系超電導線	外径	0.020mm
電気絶縁層	PFLP	外径	0.035mm
磁気遮蔽層	Bi 系超電導線	外径	0.037mm
		コア外径	0.040mm
3芯撚りピッチ		1mm	
断熱管	SUS 304'-12 重管 (厚み約 1mm)	内径	0.1mm
		外径	0.13mm
防食層	PVC	ケーブル外径	0.136mm

【0041】表1に示す材料・サイズで同様に製造したサンプルA～Dについて超電導体の昇温速度が2K/hour、10K/hour、20K/hour、100K/hourとなるように、冷凍機の温度調節機構によって冷媒の温度を調節し、その後、各サンプルの膨張の有無及び臨界電流の低下の有無を調べた。その結果、2K/hourでは、どのサンプルも膨張も臨界電流の低下も見られなかった。10K/hourでは、1つのサンプルで一部に膨張が見られわずかな臨界電流の低下が測定されたが、他の3つのサンプルは問題なかった。20K/hourでは、1つのサンプルが問題なかった以外には膨張が見られ、臨界電流の低下を生じた。100K/hourでは、全てのサンプルで膨張が見られ、臨界電流も低下した。以上より、10K/hour以下が好ましく、より好ましくは2K/hour以下、また昇温の最初は2K/hour以下として徐々に10K/hour以下の範囲で速度を上げるなどが好ましい。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように、本発明超電導ケーブルにおける冷媒の気化速度制御方法は、ケーブルに流入する冷媒の温度や圧力を制御することで、超電導素線内部に浸入した液体状の冷媒の気化速度を相対的に小さくし、素線の膨張を抑制することができるという優れた効果を奏する。また、超電導ケーブルの長手方向に亘つ

*てほぼ一斉に冷媒が気化することがない。従って、本発明は、超電導素線の特性の低減を抑制することができる。

【0043】特に、本発明は、従来の超電導ケーブル線路及び冷媒を用いることができるため、冷却から常温への移行が連続的にでき、作業効率が良い。

【0044】また、本発明は、冷媒流通路に流入する際の温度が通常冷却時よりも高い冷媒を供給することで、超電導ケーブルの長手方向に亘ってより均一に超電導体を昇温することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明超電導ケーブル線路の概略図である。

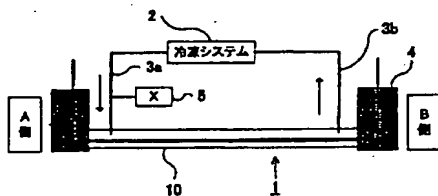
【図2】従来の超電導ケーブル線路の概略図である。

【図3】超電導ケーブルの断面図である。

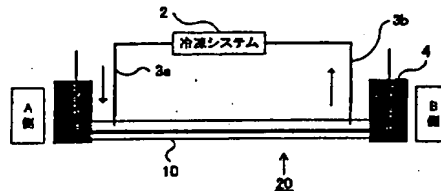
【符号の説明】

- 1・20 超電導ケーブル線路 2 供給システム 3a・3b パイプ
4 終端接続部 5 流体供給機構 10 超電導ケーブル
31 ケーブルコア 32 フォーマ 33 超電導導体 34 電気絶縁層
35 磁気遮蔽層 36 保護層 37 冷媒流通路 38 断熱管 39 防食層

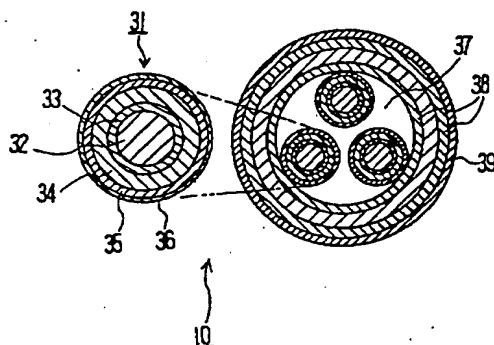
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 大倉 健吾
 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電
 気工業株式会社大阪製作所内
 (72)発明者 渡部 充彦
 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電
 気工業株式会社大阪製作所内

(72)発明者 廣瀬 正幸
 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電
 気工業株式会社大阪製作所内
 Fターム(参考) 3L044 AA01 BA07 CA18 DB03 HA01
 JA01 KA05
 5G321 AA01 BA01 CA53 CB02 DB50